

ESTUDIO 1

La exploración de la estructura conceptual en los alumnos. Un método empírico: Las Redes Asociativas Pathfinder

Luis M. Casas García*, Ricardo Luengo González**

* Colaborador del Dpto. Didáctica de las CC. Experimentales y de las Matemáticas.
Director del Colegio Público de Guadajira (Badajoz).

** Dpto. Didáctica de las CC. Experimentales y de las Matemáticas

Resumen

En este artículo presentamos un método útil, por su versatilidad y facilidad de uso, para el conocimiento y la representación de las estructuras conceptuales de los alumnos: las Redes Asociativas Pathfinder, elaboradas mediante el programa KNOT.

Este método, tiene ventajas sobre otros utilizados actualmente, tales como los mapas conceptuales, pues es totalmente empírico y muy rápido de realizar.

Presentamos un ejemplo de aplicación estudiando la estructura de conocimientos previos de los alumnos en un tema de la resolución de problemas aritméticos. Por último proponemos algunas sugerencias de aplicación en otras áreas de las Ciencias Sociales.

Summary

In this article we present a useful method, which is versatile and easy to use, with respect to the knowledge and the representation of the conceptual structures of the pupils: the Pathfinder Associative Networks, elaborated through the program KNOT.

This method, has advantages over other currently used, such as conceptual maps, since it is totally empirical and very rapid of accomplish.

We present an example of applying the methodology by studying the previous knowledge structure of the pupils on the subject of solving arithmetic problems. Finally we propose some suggestions of application in other areas of the Social Sciences.

1.- Introducción

Una preocupación actual en la investigación en Educación es la de conocer cómo los alumnos organizan en su mente los conceptos que interiorizan en el proceso de Enseñanza/Aprendizaje. Disponer de un método rápido y sencillo que proporcionara, de forma automática, una representación de esta estructura conceptual, sería, sin duda, una herramienta muy útil para un profesor. Pero es necesario que hagamos dos precisiones:

- a) que la estructura conceptual del alumno no es estática, sino dinámica porque se va modificando continuamente como consecuencia de nuevas experiencias y aprendizajes y cualquier representación puntual de esa estructura no representaría más que la "foto fija" en un momento determinado.
- b) que la estructura conceptual del alumno es un fenómeno muy complejo, al que nos aproximamos con distintos puntos de vista. Las representaciones de esa estructura tienen sentido cuando se conocen los paradigmas desde los que se enfoca el problema y los criterios y puntos de vista adoptados para obtener esas representaciones.

Uno de los momentos más claves, en los que nos interesa aproximarnos a conocer y comprender esa estructura conceptual del alumno, es cuando comenzamos un nuevo curso, tema etc, en la clase. Hoy día está generalmente aceptado que para abordar un tema nuevo es necesario partir de los conocimientos previos de los alumnos. Saber

cuál es la estructura de los conocimientos previos que ya posee el alumno, verificar cómo se va desarrollando el aprendizaje de un nuevo tema o conocer cómo, al final del mismo, se han integrado los nuevos conceptos con los anteriores ayudaría, en fin, a lograr aprendizajes verdaderamente significativos. Si, como decíamos anteriormente, dispusiéramos de un programa que nos proporcionara esta información, podríamos conocer la estructura de estos conocimientos previos, podríamos también comparar las estructuras conceptuales de distintos alumnos, compararlas con la del profesor, o incluso compararlas con la estructura de los conceptos que aparecen en un libro o un multimedia educativo. Sería una herramienta muy útil para la investigación. En este artículo tratamos de hacer una aportación en este sentido empleando un método de representación que, estamos convencidos, puede servir para los propósitos que antes hemos enumerado, y que, por su versatilidad y facilidad de uso podemos considerar como una técnica de gran interés tanto para la investigación como para la práctica educativa: las Redes Asociativas Pathfinder.

Mostraremos en principio cuáles son los métodos utilizados actualmente para representar las relaciones entre conceptos, deteniéndonos en particular en los mapas conceptuales de Novak, y en la aportación que suponen las Redes Pathfinder.

A continuación presentaremos el programa informático KNOT. Es un programa, de manejo muy fácil, pero que permite elaborar, de forma totalmente automática representaciones de las relaciones

entre conceptos en la mente de los alumnos y que, además pone a nuestro alcance una información estadística sumamente valiosa para un estudio riguroso.

Pasaremos por último a presentar, como ejemplo de aplicación, una experiencia realizada en el aula, en la que se analiza la estructura de conceptos previos de los alumnos en el ámbito de la resolución de problemas aritméticos.

Creemos que la aplicación de esta técnica puede ser de gran interés no sólo por ser una novedad en el campo de la Didáctica de las Matemáticas, sino porque, además puede ser fácilmente trasladada a otras áreas de la Investigación en Educación y en Ciencias Sociales en general, tal como exponemos en el apartado final del artículo, dedicado a las potencialidades y sugerencias de uso de las Redes Asociativas Pathfinder y del programa KNOT.

2.- Las representaciones de la estructura de relaciones entre conceptos

En el estado actual de nuestros conocimientos sobre la forma en que la mente humana trabaja, está ampliamente asumido que la información se almacena en la memoria ajustándose a una cierta organización, basada, al menos en parte, en las relaciones de similitud o proximidad entre conceptos. En esto, tal como afirma Ruiz, J.L. en su capítulo de la obra de Trespalacios (Trespalacios, 1992), coinciden básicamente todos los modelos sobre la memoria a largo plazo que son aceptadas en la actualidad. Por ello, es lógico

que la representación de la estructura de relaciones entre los conceptos almacenados en la mente del sujeto se haga, por razones de claridad y de impacto visual, en forma estructurada. Varias han sido las propuestas que se han propuesto, aunque coinciden todas en lo esencial, diferenciándose en detalles según su campo de interés y aplicación. De estas propuestas, nos referiremos brevemente y en primer lugar, a las representaciones en forma de redes, como técnica más general, para continuar, como casos particulares, con los mapas conceptuales de Novak y las Redes Asociativas Pathfinder de Schvaneveldt.

2.1.- Las representaciones en forma de redes

Básicamente consisten en que los conceptos se representan como los nodos de una estructura de grafos y las relaciones entre ellos, como las líneas que los unen. La ausencia o presencia de enlaces indica la ausencia o presencia de relación entre conceptos, y la distinta magnitud con que los conceptos están relacionados se puede representar en distintas formas.

Este tipo de representaciones, aunque ya conocidas desde los años 70, están adquiriendo gran auge, sobre todo a partir de la década de los 90, como una herramienta de representación muy útil en los campos de la Psicología y Ciencias Sociales.

El profesor Roger W. Schvaneveldt, de la Universidad de Nuevo México, es uno de los que más han trabajado en las técnicas de representación del conocimiento en forma de

redes. El propio Schvaneveldt (1.990), expresa en una significativa cita el interés que este tema encierra:

"Los modelos de redes han jugado un importante papel en distintas áreas de la ciencia cognitiva y la informática. En psicología cognitiva y en inteligencia artificial las representaciones en forma de redes de los conceptos almacenados en la memoria semántica han sido usados en investigaciones sobre modelos de adquisición de memoria y rendimiento humanos... descripción y análisis de escenas... procesamiento de lenguaje natural... y representación del conocimiento."

Entre los autores que en los últimos años han dedicado estudios a este tema, podemos citar, entre otros, a Collins y Quillian, (1.969) o Fillenbaum y Rapoport (1.971). En la actualidad es un campo de estudio en constante expansión en los países anglosajones, como lo evidencian los numerosos artículos y libros que, durante toda esta década están apareciendo en áreas tan aparentemente alejadas entre sí como la educación o la inteligencia artificial. Véanse a este respecto autores como Beissner (1.994), Cooke (1.996) o Jonassen (1.993), y en nuestro país a Bajo, M.T. (1.994).

2.2.- Los mapas conceptuales de Novak

La noción de mapa conceptual, se desarrolló por Novak y colaboradores a partir de la década de los setenta en

Universidad de Cornell. Surgieron como una forma de instrumentalizar la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel.

Un mapa conceptual puede ser definido como un recurso esquemático que representa un conjunto de significados conceptuales incluidos en una estructura jerárquica de proposiciones.

El uso de los mapas conceptuales se ha extendido en la práctica educativa del momento actual, y existen numerosas experiencias de su aplicación desde el nivel de Ed. Infantil hasta la Universidad. Muchas de estas experiencias aparecen en el libro de Ontoria (1.995), en el que se pueden ver numerosos ejemplos de su aplicación en las distintas áreas curriculares en nuestro entorno educativo.

Los mapas conceptuales presentan, sin embargo, y a pesar de sus innegables potencialidades, algunos inconvenientes que el propio Novak ya mencionó. Entre estos inconvenientes, los más destacados se refieren a que no hay criterios objetivos para establecer las relaciones entre los conceptos ni para evaluar la mayor o menor calidad de los mapas elaborados. De hecho, con los mismos conceptos, el mapa elaborado por un profesor puede ser totalmente diferente del elaborado por el alumno, y reflejar ambos diferencias que pueden ser achacables tanto al desconocimiento del tema por parte del alumno como a la más inusitada creatividad. Esto hace que la comparación, de distintos mapas sea un proceso bastante subjetivo, aún a pesar de las reglas propuestas por Novak, quien ya era consciente de tal grado de subjetividad

Pero quizá el principal inconveniente de los mapas conceptuales sea, en nuestra opinión, el riesgo de que reflejen no lo que es propiamente la estructura cognitiva del sujeto, que en muchas ocasiones no es tan claramente jerárquica como aparece en los mapas. Más bien, y por efecto de la influencia del profesor durante su elaboración, los mapas conceptuales representan la estructura lógica de la materia de estudio. La estructura mental del sujeto acerca de un tema y su estructura lógica no siempre coinciden y, dadas las características del pensamiento humano, no tienen por qué hacerlo.

Estos aspectos controvertidos, hacen que resulte de gran valor disponer de herramientas que permitan obtener representaciones del conocimiento del alumno libres de la influencia del profesor y lo más objetivas posible.

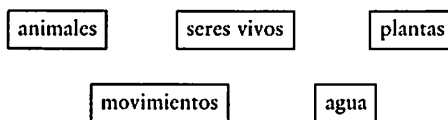
2.3.- Las Redes Asociativas Pathfinder

Este tipo de redes se desarrollan a partir de la década de los 90 en la Universidad de Nuevo México por Schvaneveldt y colaboradores, como un intento de obtener un método empírico de representar el conocimiento humano. Están basadas en la teoría matemática de grafos y tienen ciertas similitudes con los procedimientos de análisis de cluster.

Básicamente ésta es la gran aportación que suponen las Redes Asociativas Pathfinder: permiten crear representaciones en forma de redes de la estructura cognitiva de un sujeto a partir de datos empíricos, y pueden ser genera-

das de forma totalmente automática. De este modo evitan los inconvenientes de subjetividad e influencia externa que otras representaciones, como los mapas conceptuales, tienen.

Veamos con un ejemplo en qué consisten y cómo se elaboran tales redes.



Consideremos un conjunto de conceptos relacionados en un determinado campo. Tomemos por ejemplo, los siguientes:

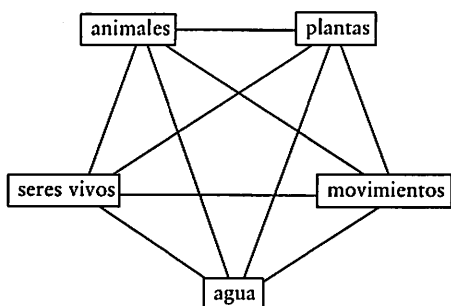
Todos estos conceptos están relacionados entre sí. Naturalmente, la relación entre unos y otros será más o menos “fuerte”, y ello dependerá de cómo lo conciba el individuo, dependiendo de sus experiencias anteriores, de sus concepciones, de sus actitudes,... de sus conocimientos previos, en suma.

Podemos hacer que el sujeto puntúe en una escala de 1 a 10 la relación que él considera que tienen dos conceptos, es decir, su proximidad. Así obtendríamos una matriz de datos tal como la siguiente:

| | Seres vivos | Plantas | Agua | Animales |
|------------|-------------|---------|------|----------|
| Plantas | 8 | | | |
| Agua | 7 | 7 | | |
| Animales | 8 | 5 | 6 | |
| Movimiento | 3 | 1 | 2 | 8 |

Para el sujeto de este ejemplo, el concepto "agua" está relacionado con el concepto "seres vivos" con una proximidad igual a 7, el concepto "animales" está relacionado con el concepto "plantas" con una proximidad de 5, el concepto "movimiento" está relacionado con el concepto "plantas" con un valor de 1, y así sucesivamente.

Si representamos en forma de red las relaciones entre estos conceptos, dado que todos están más o menos relacionados, obtendríamos una con el siguiente aspecto:

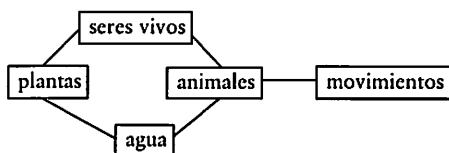


Pero una red de este tipo no es muy útil, y ofrece poca información. Evidentemente, unas conexiones entre conceptos son más fuertes que otras, y de alguna manera interesaría resaltar sólo las más importantes. Quizá algo de este modo:



En esta nueva representación, podemos observar que sólo aparecen las relaciones más significativas entre conceptos y que su forma ha variado. Esto es lo que hace el algoritmo Pathfinder, que es el que da nombre a este tipo de redes: seleccionar mediante un procedimiento matemático, sólo las relaciones más importantes.

Para otro sujeto evidentemente, la estructura de relaciones entre los mismos conceptos varía, por distintas razones. A causa de ello, la matriz que representa la proximidad entre los datos es diferente y por tanto la red también variará:



Y así sucesivamente, según los valores asignados por el sujeto, obtendríamos diferentes redes.

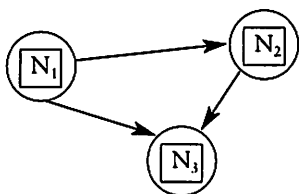
Una vez hemos visto estas ideas generales acerca de las redes Pathfinder, trataremos detalladamente de su construcción. Para comprender el siguiente apartado es necesario conocer ciertos conceptos, términos matemáticos y estadísticos con los que no todo el mundo está familiarizado; no obstante, se puede dejar este apartado para una segunda lectura sin que afecte mucho a la comprensión del artículo, pues, como veremos más adelante, existe un programa informático que realiza todos los cálculos y representaciones.

• Construcción de Redes Asociativas Pathfinder

Una red asociativa consiste, básicamente, en un conjunto de conceptos N_i (los nodos de la red) relacionados por enlaces (llamados aristas) que pueden ser dirigidos o bidireccionales.

Los enlaces (aristas) tienen un "peso" asociado w_{ij} que indica la "fuerza" con que se relacionan dos conceptos o nodos N_i y N_j .

Si tenemos tres conceptos (o nodos) N_1 , N_2 y N_3 , relacionados entre ellos, y dispuestos en esta forma:



tendremos un "sendero" P , formado por la arista que va de N_1 a N_2 y la que va de N_2 a N_3

Para el caso de las Redes Asociativas Pathfinder, el peso de este sendero, y por tanto el peso de la arista que uniera directamente a N_1 con N_3 , se calcula según la fórmula:

$$W(P) = (w_{12}^r + w_{23}^r)^{1/r}$$

donde r es un parámetro que puede ser variado y cuya utilidad veremos más adelante. Observemos, por ahora, que cuando $r = 1$, la fórmula se reduce a:

$$W(P) = (w_{12} + w_{23})$$

o sea, la suma de los pesos de las dos aristas, y que cuando $r = 2$, se convierte en:

$$W(P) = (w_{12}^2 + w_{23}^2)^{1/2}$$

es decir, la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los pesos de las aristas.

En general, para Redes Asociativas Pathfinder, el peso de un sendero con pesos w_1, w_2, \dots, w_k en sus enlaces, es determinado por la métrica " r " de Minkowski:

$$W(P) = \left(\sum_{i=1}^k w_i^r \right)^{1/r}$$

donde $r \geq 1$, $w_i \geq 0$ para todo i

Para el caso particular de $r = \infty$, el peso del sendero resulta ser el máximo peso asociado con cualquier enlace a lo largo del sendero, ya que el límite cuando r tiende a infinito de esta expresión que indica la distancia, es igual al máximo de los pesos que se introducen en ella. La demostración matemática excede a los límites de este artículo. Este último caso es particularmente interesante, pues al calcular el peso de un sendero utilizando sólo el máximo de los pesos de los enlaces incluidos en él, se recurre sólo a un criterio de orden, con lo cual, pueden utilizarse medidas que no están en escala de razón, caso éste habitual en los conceptos que manejamos en Psicología o en Pedagogía. Así pues, para datos que sólo puedan expresarse en escalas ordinales, utilizaremos para los cálculos $r = \infty$

El procedimiento funciona a partir de una matriz de datos de proximidad entre conceptos. La matriz indica cuáles son los conceptos que están relacionados y cuál es la fuerza o el “peso” con que se relacionan.

La regla para establecer cuáles son los enlaces que se mantienen y cuáles se eliminan, tal como se explica más detalladamente en la obra de Schvaneveldt, R.W (Schvaneveldt, 1.990) es la siguiente:

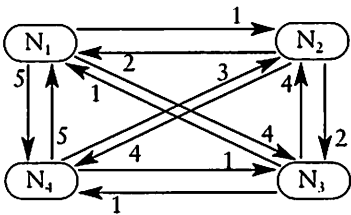
1. Se define una red consistente en todos los nodos (conceptos) N_i , pero sin enlaces.
2. Se ordenan todos los elementos e_{ij} de la matriz de datos de proximidad en orden ascendente de su peso asociado w_{ij} .
3. Se considera cada e_{ij} y se incluye e_{ij} en la Red Asociativa Pathfinder con parámetros “r” y “q”, que denominaremos de aquí en adelante PFNET (r,q), si y sólo si e_{ij} proporciona un sendero desde N_i a N_j que tiene un peso por lo menos tan pequeño como el peso de cualquier otro sendero que tenga no más de “q” enlaces, usando la métrica “r” para calcular los pesos de senderos de múltiples enlaces. Es decir, un enlace se quita si hay un sendero con un peso menor, siempre que ese sendero no tenga más de “q” enlaces.

Como ejemplo, consideremos la siguiente matriz de pesos:

W =

| | N ₁ | N ₂ | N ₃ | N ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| N ₁ | 0 | 1 | 4 | 5 |
| N ₂ | 2 | 0 | 2 | 4 |
| N ₃ | 1 | 4 | 0 | 1 |
| N ₄ | 5 | 3 | 1 | 0 |

para los nodos N_1, N_2, N_3 y N_4 , la red completa, con todos los enlaces, es la mostrada en la figura siguiente:



W =

| | N ₁ | N ₂ | N ₃ | N ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| N ₁ | 0 | 1 | 4 | 5 |
| N ₂ | 2 | 0 | 2 | 4 |
| N ₃ | 1 | 4 | 0 | 1 |
| N ₄ | 5 | 3 | 1 | 0 |

Sea $r = 1$ y $q = 2$. Aplicando la regla para establecer enlaces, se obtiene la figura 2, que sería la PFNET ($r = 1, q = 2$).

Visto en detalle, lo que el procedimiento hace es:

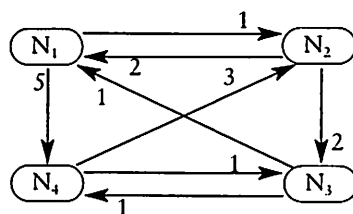
- 1.-Establece los 12 (16-4) enlaces posibles entre nodos distintos.
- 2.-Los ordena en orden creciente de pesos.

3.-Se calculan los distintos senderos que enlazan los distintos nodos y se eligen los enlaces que tengan menores pesos, y además respeten la desigualdad del triángulo, es decir, que un enlace directo de un nodo a otro ha de tener menos peso que un sendero indirecto.

A continuación lo que hace es:

- Enlaces de peso 1: e_{12} , e_{31} , e_{34} , e_{43} éstos se eligen todos, porque no hay senderos alternativos más cortos.
- Enlaces de peso 2: e_{21} , e_{23} también se eligen todos por la misma razón.
- Enlaces de peso 3: e_{42} también se elige porque no hay otro sendero más corto.
- Enlaces de peso 4:
 - e_{13} no se elige porque el sendero e_{123} es más corto.
 - e_{24} tampoco porque e_{234} es más corto.
 - e_{32} tampoco porque e_{312} es más corto.
- Enlaces de peso 5:
 - e_{41} no se elige porque e_{431} es más corto.
 - e_{14} no se elige ya que su peso empa-ta el peso del sendero P_{124} , aunque el enlace e_{24} no está él mismo en la red; si estuviera en la red, se violaría la desigualdad del triángulo para el sendero alternativo P_{234} . Esto es claro, ya que el sendero P_{24} no puede ser más largo yendo directamente de N_2 a N_4 que haciéndolo a través de N_3 . En el primer caso la matriz da el valor 4 y en el segundo caso da como

valor $2 + 1 = 3$. Por eso se elimina P_{24} y se deja P_{234} . En eso consiste no violar la desigualdad del triángulo. El sendero P_{1234} tiene menos peso, pero no se compara con e_{14} ya que tiene tres aristas y para este ejemplo asumimos que $q = 2$.



Esta sería la Red Asociativa Pathfinder obtenida con los parámetros $r=1$ y $q=2$ PFNET ($r=1$, $q=2$).

Si los parámetros q y r varían se obtendría una red diferente. Este detalle es de importancia, y merece la pena detenerse un tanto en explicar su alcance.

Con respecto al parámetro “ r ”, como ya dijimos antes, y dada la métrica utilizada por el procedimiento Pathfinder, determina la forma de calcular los pesos de los senderos. Su importancia práctica radica en que, eligiendo $r=$ podemos utilizar datos que no estén medidos en escalas de razón. Evidentemente, la proximidad que un sujeto estima que existe entre dos conceptos, no se mide en una escala de razón, por lo que estamos en el caso adecuado para utilizar dicho valor de “ r ”. Si disponemos de datos en ese tipo de escala, podremos utilizar cualquier otro valor.

Por lo que respecta al parámetro “q”, su finalidad es limitar el número de enlaces que están presentes en la red, es decir, hacer las redes más o menos sencillas.

Si de nuevo observamos la explicación anterior acerca de la elección del enlace e_{14} para formar parte de la red, veremos que, con un valor del parámetro $q=2$ a la hora de garantizar que se conserva la desigualdad del triángulo, solamente tenemos en cuenta senderos formados por dos enlaces. De esta forma, es posible que se viole la desigualdad del triángulo con senderos de más de dos enlaces. Si aumentamos el valor de “q” obligamos a que las condiciones sean más restrictivas por lo que respecta a la conservación de la desigualdad del triángulo: habrá menos senderos que la cumplan, y en general, habrá menos senderos en la red. El resultado será una red más sencilla.

Si se quiere que en una red con “n” nodos sólo aparezcan los enlaces más importantes, se utiliza $q = n - 1$, que es

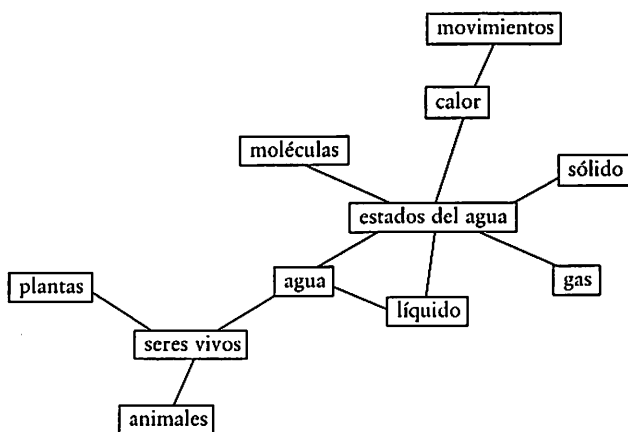
el número máximo de enlaces de un sendero no cerrado. Disminuyendo q, aumenta la complejidad de la red.

3.- El Programa KNOT

Existen varios algoritmos de cálculo, muchos de ellos implementados en ordenador, que permiten realizar todo el proceso anteriormente descrito, de forma automática. Uno de ellos es el empleado en el programa KNOT (Knowledge Network Organizing Tool).

Es un programa desarrollado en la Universidad de Nuevo México por Schvaneveldt y cols. que produce Redes Asociativas Pathfinder a partir de datos de proximidad, y que funciona en cualquier ordenador con entorno Macintosh.

El tipo de representaciones que produce el programa es la que puede observarse en la figura siguiente, donde podemos ver la Red Asociativa Pathfinder de un alumno, correspondiente a un conjunto de conceptos relacionados con el agua y los seres vivos.



Pero el programa produce también representaciones del mismo tipo si, en lugar de conceptos, introducimos como datos nombres de personas y asignamos como valores de proximidad la relación que existe entre ellas. En nuestro ámbito es frecuente elaborar sociogramas, y podemos obtener el siguiente, representativo de las relaciones de dos grupos de chicas en una clase.

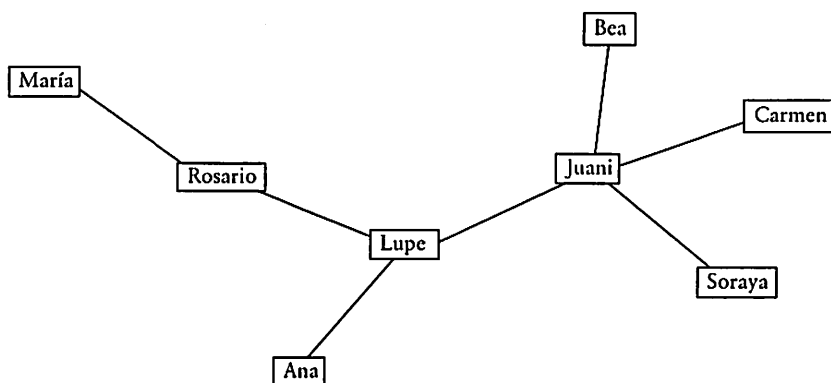
Para producir y presentar en pantalla estas redes, el programa KNOT tiene implementados dos algoritmos:

- 1.-El algoritmo Pathfinder, que, mediante un procedimiento iterativo lleva a cabo los pasos que hemos explicado en el apartado anterior, y que es el que permite seleccionar cuáles son los enlaces que van a formar parte de la red, en función de los parámetros "r" y "q", tal como explicamos en el apartado anterior.
- 2.-El algoritmo "Spring Embedding" de Kamada y Kawai (1.989). Es un procedimiento de diseño gráfico que calcula

las posiciones de los nodos y aristas de una red, de una forma automática y con arreglo a ciertos criterios estéticos.

La idea del procedimiento es simular un proceso físico: los nodos de la red se consideran como cargas eléctricas del mismo signo, mientras que las aristas se consideran como muelles que las unen. Mientras las cargas eléctricas tienden a repelerse, los muelles tienden a unirlos. La fuerza de las cargas depende del número de enlaces que lleguen a ellas. La fuerza de los muelles depende del peso de las aristas, que reflejan la proximidad de los conceptos. El algoritmo simula, de forma iterativa, los movimientos de los nodos de acuerdo con las fuerzas hasta que llegan a posiciones estables cuando cada fuerza se compensa con las demás y el sistema está equilibrado.

El algoritmo Pathfinder determina los enlaces que se forman en la red y el algoritmo Spring Embedding proporciona las coordenadas de los nodos.



3.1.- Obtención de Redes Asociativas Pathfinder con el programa KNOT

El programa es de muy fácil manejo, aunque tiene opciones avanzadas que no describiremos.

La opción más simple nos permite representar las Redes Asociativas Pathfinder a partir de datos de proximidad y calcular características importantes de estas redes, tales como su coherencia interna o la similaridad entre dos de ellas.

Para su utilización, en primer lugar, se indican los términos que se quieren relacionar y a continuación se les asignan valores de proximidad en una escala que va desde conceptos poco relacionados a conceptos muy relacionados, según la opinión del sujeto.

El programa presenta de forma aleatoria todas las posibles parejas de conceptos y pide que asignemos un valor de proximidad. Cuando se ha terminado de hacerlo, se guardan los datos en ficheros de texto. Una vez hemos creado los anteriores ficheros, podemos abrirlos y el programa crea, tras un momento, que emplea en calcular las posiciones de los nodos la red Pathfinder y la presenta en pantalla.

Por defecto, el programa utiliza como valores $q = n-1$, donde "n" es el número de nodos (conceptos) y $r = \infty$. Estos valores pueden cambiarse accediendo a las preferencias del programa, y determinan, como ya indicamos anteriormente, su adecuación al uso de datos de tipo ordinal o de otro tipo, y la mayor o menor complejidad de las redes.

3.2.- Coherencia y similaridad de Redes Asociativas Pathfinder

Un aspecto muy interesante del programa KNOT es que no sólo sirve para elaborar y presentar Redes Asociativas Pathfinder, sino que nos permite calcular la coherencia interna de las respuestas dadas en el emparejamiento de conceptos.

A menudo, la medida de coherencia indica el grado de experiencia (o grado de aprendizaje) que un sujeto tiene acerca de un tema, e indica también si las respuestas se han dado de una manera atenta o bien se ha hecho al azar. Esto es importante, pues es, en cierto modo, una medida objetiva del grado de calidad de las Redes obtenidas.

También es muy interesante la posibilidad que el programa KNOT permite de calcular la similaridad entre dos redes de una forma no subjetiva.

Junto al valor de la proximidad, que puede oscilar de 0 (redes totalmente diferentes) a 1 (redes idénticas), el programa también proporciona información estadística acerca de la similaridad, como es la probabilidad cola (Tail Prob) es decir, la probabilidad de que dos redes puedan compartir un número dado de enlaces o más por azar. Este valor puede usarse como un test estadístico de la similaridad de dos redes. Según el grado de significación con que estemos trabajando (99% o 95%), estos valores reflejan la similaridad que tienen dos redes y cuanta podría esperarse por azar.

Esta opción que nos ofrece el programa KNOT de obtener los valores de

coherencia y similaridad es muy interesante, pues nos permite, además de otras muchas posibilidades, hacer estudios que comparen las redes conceptuales de distintos alumnos, analizar la evolución de estas redes a lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje, o comparar los esquemas conceptuales del alumno con los del profesor.

Estos aspectos, que ya apuntábamos en la introducción a este artículo, hacen que las Redes Asociativas Pathfinder, que pueden obtenerse mediante el programa KNOT, sean una magnífica herramienta tanto en el trabajo en el aula como en la labor de investigación. De ambos aspectos tendremos ocasión de ver una muestra en la experiencia que presentamos a continuación.

4.- Un ejemplo de aplicación: Exploración de los conocimientos previos de los alumnos

4.1.- El aprendizaje significativo. Los conocimientos previos

Cualquier alumno (y en general cualquier ser humano), cuando se enfrenta a nuevos aprendizajes, no lo hace partiendo de cero, sino que ya posee una serie de conocimientos, a los que llamamos conocimientos previos, en los que se apoya. Estos conocimientos se refieren no sólo a los significados de las palabras o los conceptos, sino que, en algún modo hemos relacionado en nuestra mente unos con otros, y les hemos dado una estructura, un sentido y un valor. Representan nuestro

conocimiento de un determinado aspecto de la realidad.

La teoría del aprendizaje significativo de Ausubel (1976), una de las más extendidas y comúnmente aceptadas en el entorno educativo actual, se caracteriza de un modo particularmente destacado, porque tiene en cuenta estos conocimientos previos del alumno, y los aprovecha para construir, a partir de ellos, los nuevos aprendizajes.

Tal como afirma Novak (1988), estos conocimientos no están formados por datos aislados dispuestos secuencialmente, tal como los ordenamos en una frase, sino en forma estructurada:

"Los mensajes orales o escritos son necesariamente secuencias lineales de conceptos y proposiciones; en cambio, el conocimiento se almacena en nuestra mente en una especie de estructura jerárquica u holográfica."

Teniendo en cuenta que los conocimientos se almacenan en esta forma, la riqueza de la estructura cognitiva de un alumno no sólo se determina por la cantidad de conceptos que incluya, sino por su nivel de organización, es decir por sus relaciones y la coherencia interna existente entre ellos.

La necesidad de saber cuáles son los conocimientos previos que los alumnos poseen antes de abordar un nuevo aprendizaje es de tal importancia que el propio Ausubel lo expuso, en una conocida frase, en la que centraba toda la psicología educativa en averiguar cuáles eran dichos conocimientos.

La cuestión que surge es como hacerlo en la práctica y para ello, el profesor utiliza distintos métodos, desde dialogar con los alumnos hasta elaborar pruebas específicas.

A este respecto afirma Contreras (1.993):

"La evaluación de esos conocimientos previos ha sido un problema constante para los investigadores de este campo. Se han empleado desde tests a entrevistas, pero quizás la técnica más plausible hoy sea el empleo de mapas conceptuales".

Sin embargo, en nuestra opinión, la exploración se hace de una forma abierta, y el profesor debe hacer una labor de síntesis de las observaciones que va recogiendo, para hacerse una idea que sólo puede ser global y, por tanto aproximada. Y además, muy subjetiva. A pesar de ello debe realizar un esfuerzo y emplear un tiempo considerables, para obtener un resultado que, cuando menos, es susceptible de mejoras.

Lo deseable son instrumentos que sean no sólo útiles, sino fáciles de aplicar, para toda una clase, en un tiempo razonable y que de forma explícita representen las relaciones entre conceptos en la mente de los alumnos. Y es preciso, además, que sean lo menos subjetivos posible.

Creemos que las Redes Asociativas Pathfinder, elaboradas por el programa KNOT poseen estas características, por encima de otros instrumentos,

que, como los mapas conceptuales de Novak, han sido utilizados para el mismo propósito.

4.2.- La exploración de los conocimientos previos mediante KNOT

Aunque deliberadamente, a la hora de explicar en apartados anteriores el funcionamiento del programa KNOT hemos elegido ejemplos muy simples, presentamos a continuación una experiencia en la que hemos tratado de comprobar la adecuación del programa KNOT a la hora de conseguir representar, comparar y evaluar, los conocimientos previos de los alumnos en el campo de la resolución de problemas aritméticos.

En el nivel de 6º Curso de Enseñanza Primaria uno de los tópicos más interesantes es el de resolución de problemas (y más concretamente de problemas aritméticos). Los alumnos presentan errores conceptuales y operativos que influyen negativamente en su aprendizaje. Determinar su estructura conceptual previa era para nosotros fundamental. En consecuencia nos planteamos determinar en qué forma aparecen como interrelacionados una serie de conceptos (que consideramos "clave") en la mente de los alumnos. Al menos intentamos aproximarnos obteniendo una representación que nos visualizara la estructura conceptual, con el criterio siguiente: El sujeto debería responder ante dos conceptos concretos si los consideraba relacionados y en qué medida. Por ejemplo parte de los alumnos ven muy relacionados los

conceptos de “quitar” y “restar” y ven alejados “triplicar” y “dividir”; pero en este caso estas relaciones coinciden con las asignadas por los profesores.

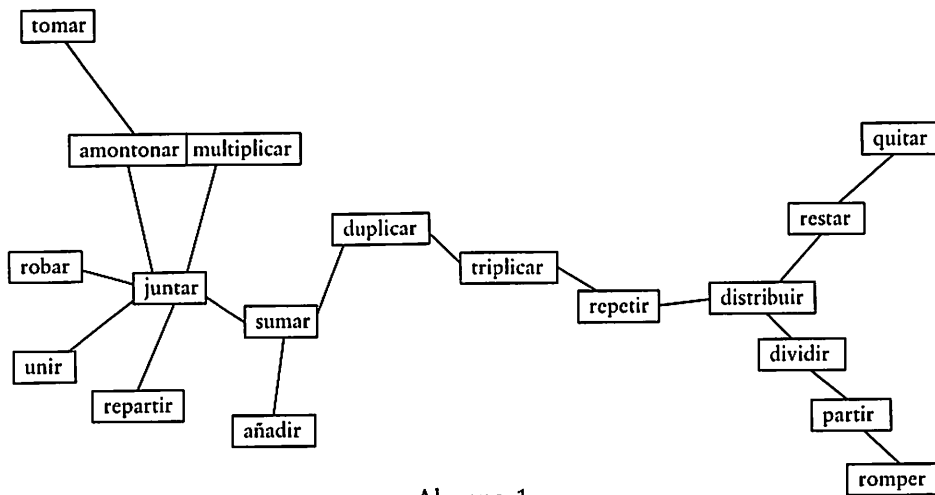
La experiencia realizada, en esta primera aproximación al problema, ha consistido en pedir a los alumnos (12 de 6º curso de E.P.) y profesores (2 profesores experimentados) que, utilizando el programa KNOT, asignaran juicios de proximidad a las pa-

rejas de conceptos que se les iban presentando, relacionados con la resolución de problemas aritméticos. Se ha llevado a cabo en un aula, en la que se disponía de un ordenador Macintosh Classic, al que accedían los alumnos libremente, durante la jornada escolar. La media de tiempo empleado para cada alumno, ha sido de 20 minutos. Los conceptos seleccionados han sido los siguientes:

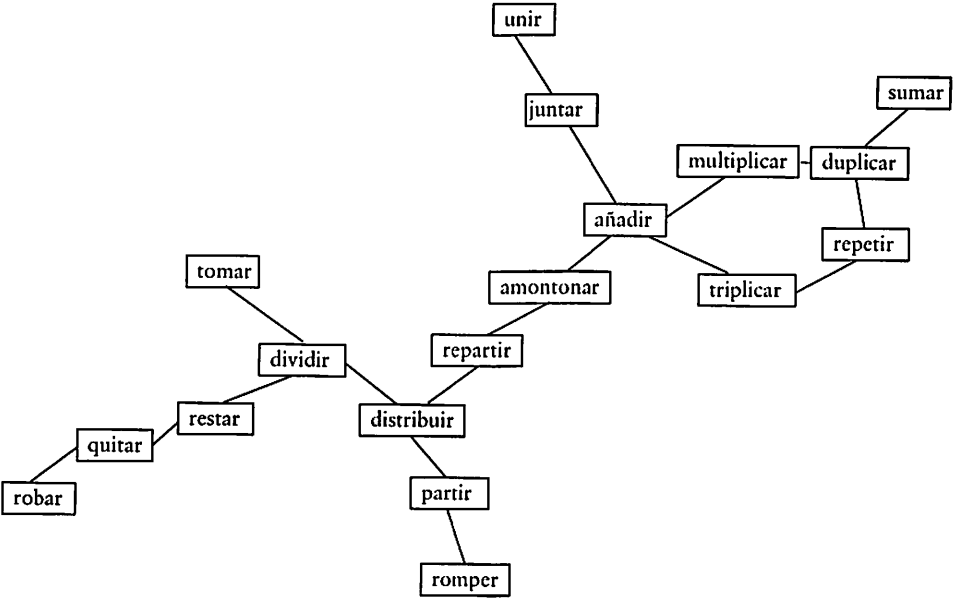
| | | | | | |
|---------|---------|------------|-------------|----------|-----------|
| sumar | juntar | unir | amontonar | añadir | restar |
| robar | quitar | tomar | multiplicar | duplicar | triplicar |
| repetir | dividir | distribuir | partir | repartir | romper |

Estos conceptos son las palabras claves que más frecuentemente aparecen en los enunciados de los problemas aritméticos de suma, resta, multiplicación y división y han sido seleccionados a partir de lo indicado por Puig, L. y Cerdán (1.988).

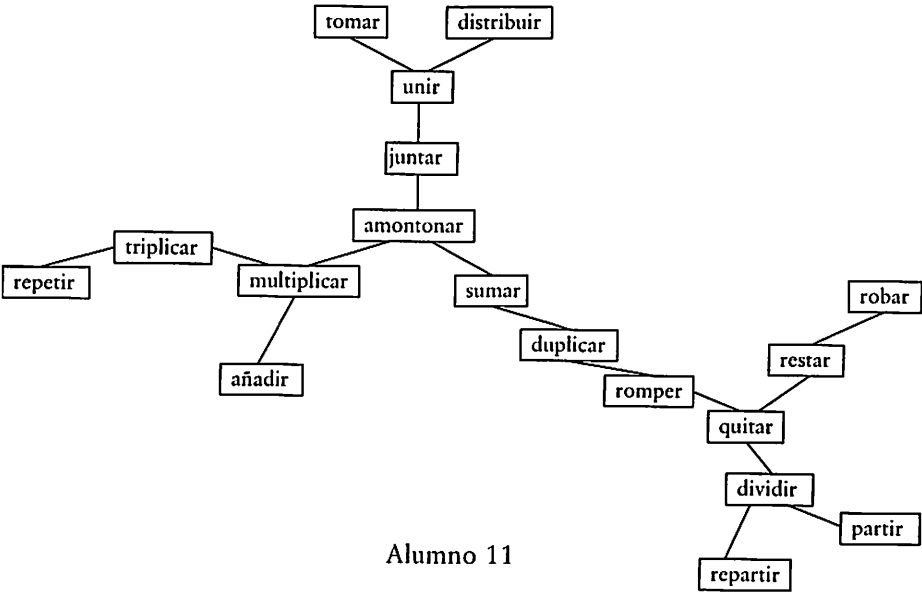
Se han obtenido las redes representativas de la relación entre los conceptos para los doce alumnos. Por razones de espacio solo mostraremos las que consideramos más interesantes relativas a los alumnos 1,7,11 y 12:



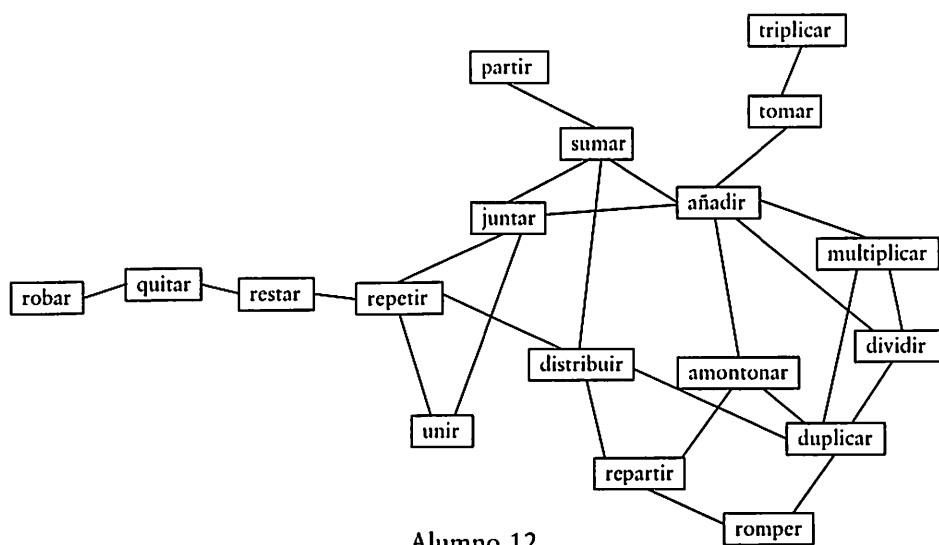
Alumno 1



Alumno 7



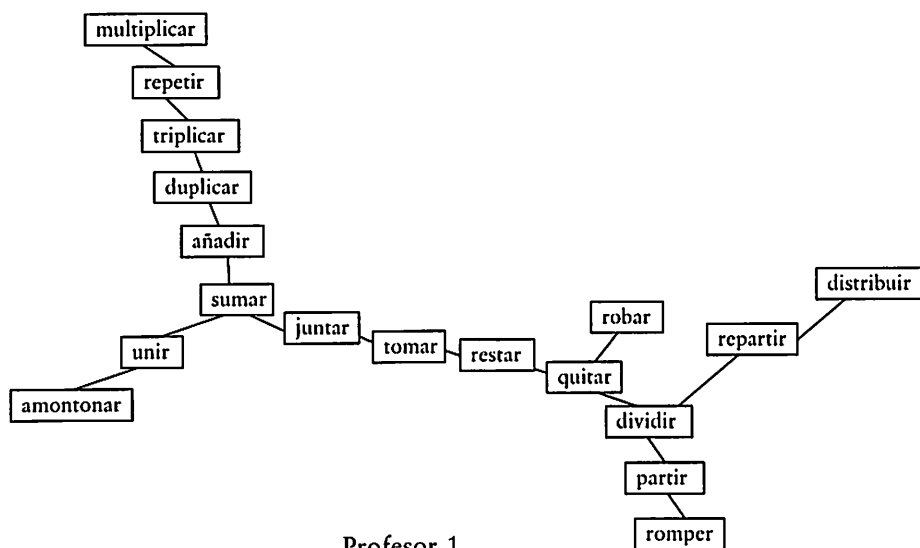
Alumno 11



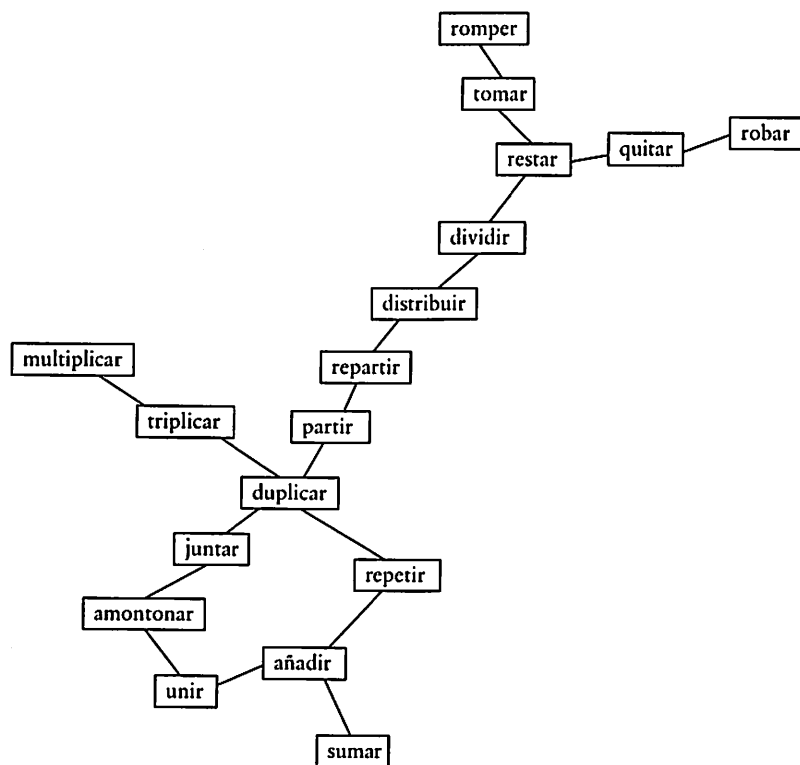
Alumno 12

Durante la investigación se planteó la pregunta de ¿cuál es la estructura resultante de los profesores atendiendo a los mismos criterios?, ¿cuáles pueden ser las características

de dichas representaciones y sus similitudes?. Mostramos a continuación las que corresponden a los dos profesores experimentados que impartían clase a estos alumnos.



Profesor 1



Profesor 2

De estos datos, podemos hacer dos tipos de análisis. En primer lugar, podemos hacer un análisis meramente visual, de tipo cualitativo, y que ya por sí mismo, nos indica la similitud que hay entre las Redes Asociativas de los profesores, así como algunas peculiaridades en las redes de los alumnos.

Como podemos ver, para los profesores, tenemos dos redes claramente estructuradas en torno a conceptos centrales, a partir de los cuales se van relacionando todos los demás. Este

mismo tipo de red aparece en algunos alumnos, pero es más confusa en otros.

En casi todos ellos, haciendo el análisis detallado, que nos permiten los gráficos, podemos identificar algunas relaciones entre conceptos que resultan un tanto "extrañas". Por ejemplo en el caso del alumno 11 aparecen como próximas las relaciones duplicar - partir y duplicar - tomar, que no debieran serlo tanto. Y así ocurre, aunque en mucho menor grado, con los demás alumnos. Estas

conexiones indican, al menos, que no siempre relacionan los conceptos en la forma que a nosotros nos parece la "adecuada", sino que por alguna razón, que deberemos analizar más detenidamente, los relacionan en otra forma. Estas diferencias entre significados y relaciones de conceptos, que no son compartidas son, sin duda, fuente de errores, pues al no haber sintonía en los conceptos comunes, no se establece adecuadamente la comunicación profesor-alumno.

Existen, por último, alumnos en los que, a simple vista aparece, como en el caso del número 12, una gran confusión. La representación en forma de redes detecta estas anomalías, que, por

otra parte, son habitualmente corroboradas por el juicio del profesor.

En un segundo tipo de análisis más de tipo cuantitativo, el programa KNOT nos permite, en primer lugar, comparar la similaridad entre todas las redes, de profesores, y alumnos entre sí, ofreciéndonos además, su nivel de significación. En segundo lugar, el programa nos ofrece la medida de la coherencia a la hora de relacionar los conceptos.

Veamos a continuación un extracto de los datos de similaridad que proporciona el programa, recogiendo sólo aquellos cuya significación está por encima del 95% (probabilidad cola menor o igual que 0.05)

| Primera red | Segunda red | Similaridad | Probabilidad cola |
|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| Profesor 2 | Profesor 1 | 0.250 | 0.00091 |
| Alumno 1 | Profesor 1 | 0.259 | 0.00059 |
| Alumno 1 | Profesor 2 | 0.167 | 0.03200 |
| Alumno 7 | Profesor 1 | 0.167 | 0.03200 |
| Alumno 7 | Profesor 2 | 0.200 | 0.00875 |
| Alumno 7 | Alumno 1 | 0.207 | 0.00630 |
| Alumno 11 | Profesor 1 | 0.172 | 0.02486 |
| Alumno 11 | Alumno 1 | 0.214 | 0.00450 |

Como era de esperar, los mayores valores de la similitud se dan al comparar las redes de los profesores entre ellas. El resto de los valores son, también lógicamente, bajos, pues dado el número de conceptos a enlazar, relativamente elevado, la probabilidad de que haya enlaces en común, y por tanto de que la similitud sea alta, es pequeña. Si hubiéramos trabajado con redes más sencillas serían mayores. Pero en este caso no interesan tanto los valores absolutos, sino su posición relativa, que nos permite identificar el mayor o menor acuerdo entre las estructuras de los sujetos.

Por lo que respecta a la coherencia de las redes, extractamos también algunos de los datos que ofrece el programa:

| | |
|--------------|------------|
| coh = 0.0288 | Alumno 12 |
| coh = 0.2016 | Alumno 11 |
| coh = 0.6543 | Alumno 7 |
| coh = 0.3178 | Alumno 1 |
| coh = 0.8145 | Profesor 2 |
| coh = 0.6850 | Profesor 1 |

Como también era de esperar, los mayores valores de la coherencia son los de los dos profesores. Algunos alumnos se acercan a estos valores, y son precisamente los alumnos que, según la opinión de los profesores, destacan en la clase.

Entre los demás, hay algunos cuyos valores de coherencia son muy bajos, y corresponden con los alumnos en los que, en un primer examen visual, se perciben mayores incoherencias en sus redes.

4.3.- Potencialidades y sugerencias en Investigación Educativa

Creemos que la experiencia que hemos presentado puede ser indicativa de la utilidad de las Redes Asociativas Pathfinder como elemento para el diagnóstico y evaluación de las estructuras conceptuales de los alumnos. Pero no termina ahí el interés que consideramos tiene esta herramienta.

En este artículo hemos presentado tan sólo algunas de sus potencialidades, pero dada su facilidad de uso y su versatilidad, son muy numerosas las posibles aplicaciones que pueden hacerse, no sólo en el ámbito de la Didáctica de las Matemáticas, como hemos mostrado en nuestro ejemplo, sino en otras muchas Áreas.

Sin querer agotar el tema, algunas de las posibles vías de investigación, que su utilización nos ha sugerido, podrían ser:

- Exploración del pensamiento del profesor.
- Conocimiento de las concepciones de los estudiantes sobre la práctica pedagógica.
- Comparación de las estructuras conceptuales de profesores expertos frente a novatos.
- Adecuación de las estructuras conceptuales de libros de texto o multimedia educativos a las estructuras conceptuales de los alumnos.
- Análisis de las relaciones en grupos sociales.
- Exploración en el campo de la interrelación conceptos-actitudes.

Dado que, además, el uso de las Redes Asociativas Pathfinder es sencillo y rápido de aplicar disponiendo del programa KNOT, se ofrece aquí no sólo un interesante campo de trabajo en Educación, Psicología o las Ciencias Sociales en general, sino también un instrumento para la mejora de la práctica educativa.

5.- Bibliografía

- AUSUBEL, D. 1976. *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. Trillas. México.
- BAJO, M.T. y CAÑAS, J.J. 1994. "Métodos indirectos de adquisición del conocimiento". En Zaccagnini, J.L. y Adarraga, P. (Eds.) *Psicología e inteligencia artificial*. Trotta. Madrid.
- BEISSNER, K. y otros. 1994. "Representing structural knowledge to improve learning". *Performance Improvement Quarterly*, 7(4), 20-38.
- COLLINS, A.M. y Quillian, M.R. 1969. "Retrieval time from semantic memory". *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8, 240-247.
- CONTRERAS, L. C. 1993. "Mapas conceptuales y resolución de problemas". *Investigación en la Escuela*, nº 19, 81- 88.
- COOKE, N. y otros. 1996. "Procedural Networks Representations of Sequential Data". *Human-Computer Interaction*, v11 n1 pags. 29-68.
- FERNÁNDEZ TRESPALACIOS, J.L. 1992. *Psicología General II*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid.
- FILLENBAUM, S. y RAPOPORT, A. 1971. *Structures in the subjective lexicon*. Academic Press. New York.
- JONASSEN, D.H. y otros. 1993. *Structural knowledge: Techniques for assessing, conveying, and acquiring structural Knowledge*. Lawrence. Hillsdale, NJ.
- KAMADA, T. y KAWAI, S. 1989. "An algorithm for drawing general undirected graphs". *Information processing letters*, 31, 7-15.
- NOVAK, J y GOWIN, D. 1988. *Aprendiendo a aprender*. Martínez Roca. Barcelona.
- ONTORIA, A. y otros. 1995. *Mapas conceptuales*. Una técnica para aprender. Narcea. Madrid.
- PUIG, L. y CERDÁN, F. 1988. *Problemas aritméticos escolares*. Síntesis. Madrid.
- SCHVANEVELDT, R.W.(Ed.) 1990. *Pathfinder Associative Networks*. Studies in Knowledge Organization. Ablex. Norwood, N.J.